

APPLICATION UNDER UNITED STATES PATENT LAWS

Atty. Dkt. No. 061069/0307278

Invention: OPTICAL SYSTEM AND OPTICAL APPARATUS USING THE SAME

Inventor (s): Kentaro SEKIYAMA

Address communications to the
correspondence address
associated with our Customer No

00909

Pillsbury Winthrop LLP

This is a:

- ☐ Provisional Application
- ☒ Regular Utility Application
- ☐ Continuing Application
 - ☐ The contents of the parent are incorporated by reference
- ☐ PCT National Phase Application
- ☐ Design Application
- ☐ Reissue Application
- ☐ Plant Application
- ☐ Substitute Specification
 - Sub. Spec Filed _____
 - in App. No. _____ / _____
- ☐ Marked up Specification re
 - Sub. Spec. filed _____
 - In App. No _____ / _____

SPECIFICATION

光学系及びそれを用いた光学装置

Optical System and Optical Apparatus Using The Same

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention

本発明は、電子撮像装置等に用いる光学系及びそれを用いた光学装置に関する。

2. Description of the Related Art

従来の光学系は、フォーカシングを行うために移動可能なレンズ群を備えており、このレンズ群をモータ等の駆動手段を用いて光軸方向に移動することで、被写体と撮像面までの距離（物体距離）に応じたピント合わせを可能にしている。

SUMMARY OF THE INVENTION

本発明は、少なくとも1つの形状可変ミラーを有し、該形状可変ミラーの変形のみでフォーカシングが可能のように構成された光学系を提供する。この構成によれば、フォーカシング時にレンズを駆動する必要がないので、消費電力が非常に小さく、動作音が静かで、機械的構造が簡単な、コンパクトかつ低コストの光学系及び光学装置を実現できる。

本発明によれば、前記形状可変ミラーは、偏心収差を低減するために所定の状態で回転非対称な形状に変形することを特徴としている。この特徴により、全てのフォーカシング領域で良好な結像性能を得ることができる。形状可変ミラーは、変形してパワーを持った際、反射面が入射光に対して偏心しているため、反射時に偏心収差が発生する。この偏心収差を補正するために、形状可変ミラーは回転非対称な形状に変形することが望ましい。

また、本発明によれば、偏心収差を補正するために、少なくとも1つの回転対称なレンズあるいは撮像面が、Z軸に対して偏心配置されていることを特徴

としている。この特徴により、形状可変ミラーはそのパワーが強くなるにつれて偏心収差の残存量が増大するが、そのような場合でも、良好な光学性能を得ることが可能となる。なお、本発明における偏心とは、シフト及びティルトのことを指す。

また、本発明によれば、前記形状可変ミラーは、フォーカシングする物体距離が近くなるにつれて正のパワーが大きくなるように構成されていることを特徴としている。この特徴により、遠点から近点までの広範囲で良好な光学性能を得ることができる。なお、本明細書において、パワーの符号は、収束作用を持つ場合をプラス、発散作用を持つ場合をマイナスとして定義する。つまり、形状可変ミラーでは凹面の変形量が大きいほど正のパワーを持つことになる。

また、本発明によれば、前記形状可変ミラーは、変形により正のパワーと負のパワーの両方を取ることができるように構成されている。この構成により、形状可変ミラーの偏心収差の発生を抑制しつつ良好な光学性能を得ることができる。即ち、形状可変ミラーは、パワーが増大するにつれて変形量が大きくなり、それによって偏心収差が発生し、光学性能が劣化してしまうが、形状可変ミラーが正のパワーと負のパワーの両方を取ることで変形量を抑えられ、偏心収差の発生を抑制しつつ良好な光学性能を得ることができる。

また、本発明によれば、前記形状可変ミラーは、正のパワーのみを取ることができるように構成されている。この構成により、機械的構造や電氣的構造が簡単になり、低コストの形状可変ミラーを提供することができる。

また、本発明によれば、前記形状可変ミラーは、ミラー面の変形の際に周辺部が固定であるように構成されていることを特徴としている。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、少なくとも1つ以上の接合レンズを有することを特徴としている。この構成により、各レンズ群で発生する色収差を良好に補正することができ、さらに光学系のコンパクト化にも寄与することができる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラ

一の最大変形量を $m d$ 、光学系の焦点距離を $f l$ としたとき、所定の状態で以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0 < |m d / f l| < 0.1 \quad (1-1)$$

ただし、光学系の焦点距離 $f l$ は、形状可変ミラーが平面形状における光学系の焦点距離として定義する。以下の各条件式における $f l$ も同様である。

この特徴により、形状可変ミラーの変形量を適正な範囲に抑えることができる。即ち、上記(1-1)式の上限を上回ると、形状可変ミラーの変形量が大きくなりすぎて偏心収差の発生量が増大し、所望の光学性能を満足することが難しくなる。さらに、製造上の難易度が高くなる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、所定の状態で以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0 < |m d / f l| < 0.05 \quad (1-2)$$

この特徴により、さらに偏心収差の発生量を抑えることができる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、所定の状態で以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0 < |m d / f l| < 0.03 \quad (1-3)$$

この特徴により、さらに良好に偏心収差の発生量を抑えることができる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーの最大変形量を $m d$ 、形状可変ミラーにおける光学的に有効な反射面の面積を $S m$ としたときに、所定の状態で以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0 < m d^2 / S m < 5.0 \times 10^{-4} \quad (2-1)$$

この特徴により、形状可変ミラーの変形量を適正な範囲に抑えることができる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、所定の状態で以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0 < m d^2 / S m < 1.0 \times 10^{-4} \quad (2-2)$$

この特徴により、さらに良好に形状可変ミラーの変形量を適正範囲に抑える

ことができる。

また、本発明によれば、形状可変ミラーを含んだ光学系は、フォーカシングを行う際の形状可変ミラーの駆動方式が静電駆動方式であり、フォーカシング時に形状可変ミラーに印加する電圧を V_m (Volt) としたときに、所定の状態で以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0 \leq |V_m| < 500 \quad (3-1)$$

この特徴により、空気放電の危険性を低減しつつ、形状可変ミラーの変形量を大きくすることができる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーによってフォーカシングを行う際に、形状可変ミラーの駆動方式が静電駆動方式であり、フォーカシング時に形状可変ミラーに印加する電圧を V_m (Volt) としたときに、所定の状態で以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0 \leq |V_m| < 300 \quad (3-2)$$

この特徴により、消費電力を低減させることができるので、さらに良い光学系及び光学装置を提供できる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーのパワーを ϕ_{DM} 、光学系の焦点距離を f_1 としたときに、所定の状態で以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0 \leq |\phi_{DM} \times f_1| < 1.00 \quad (4-1)$$

ただし、前記形状可変ミラーのパワー ϕ_{DM} は、前記形状可変ミラーの偏心方向 (Y 方向) 面内でのパワー ϕ_{DMY} と、それと直交する方向 (X 方向) 面内でのパワー ϕ_{DMX} との平均値であり、 $\phi_{DM} = (\phi_{DMX} + \phi_{DMY}) / 2$ と定義される。

この特徴により、形状可変ミラーのフォーカシング作用を満足に得ることができ、さらに形状可変ミラーで発生する偏心収差を適正な範囲で抑えることができる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、所定の状態で

以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0 \leq |\phi DM \times f_1| < 0.50 \quad (4-2)$$

この特徴により、さらに形状可変ミラーで発生す偏心収差を抑えることができるので、なお良い。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、所定の状態で以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0 \leq |\phi DM \times f_1| < 0.10 \quad (4-3)$$

この特徴により、さらに良好に形状可変ミラーで発生す偏心収差を抑えることができる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、前記形状可変ミラーによって遠点にフォーカシングした際に、形状可変ミラーが、フォーカシングした状態のパワーよりも小さいパワーの状態に変形できることを特徴としている。この特徴により、コントラスト方式のオートフォーカスを行うことが可能になる。即ち、形状可変ミラーが遠点合焦時よりも小さいパワーになることで、遠点における像のボケ具合を調節することができる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、前記形状可変ミラーによって近点にフォーカシングした際に、形状可変ミラーがフォーカシングした状態のパワーよりも大きいパワーの状態に変形できることを特徴としている。

この特徴により、コントラスト方式のオートフォーカスを行うことが可能になる。即ち、形状可変ミラーが近点合焦時よりも大きいパワーになることで、近点における像のボケ具合を調節することができる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、前記形状可変ミラーによって物体距離が無限大の物点にフォーカシングした際に、形状可変ミラーの形状が平面ではなく、ゼロよりも大きなパワーを持つ凹面形状に変形することを特徴としている。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーの物体側に負パワーのレンズ群を有し、該レンズ群の焦点距離を f_1 、光学

系の焦点距離を f_1 としたときに、以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$-5.0 < f_1 / f_1 < -0.2 \quad (5-1)$$

この特徴により、形状可変ミラーの小型化、低コスト化、及び良好な光学性能を得ることができる。即ち、条件式 (5-1) の下限を下回ると、負レンズ群のパワーが非常に弱くなり、広角端における形状可変ミラーの軸外光線高を小さくすることができず、形状可変ミラーの大型化につながり、コスト高を招く。また、条件式 (5-1) の上限を上回ると、負レンズ群のパワーが強くなりすぎ、そのレンズ群で発生するコマ収差や倍率の色収差を補正することが困難になる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$-2.5 < f_1 / f_1 < -0.5 \quad (5-2)$$

この特徴により、良好な光学性能を確保しつつ、さらに形状可変ミラーの小型化を実現できるので、さらに良い。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーの物体側に配置された負パワーのレンズ群が、1枚の凹レンズで構成されていることを特徴としている。この特徴により、形状可変ミラーから物体側のレンズが1枚だけなので、コンパクトで薄型の光学系を実現することができる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーの物体側に配置された負パワーのレンズ群が、2枚のレンズで構成されていることを特徴としている。この特徴により、ディストーションや倍率色収差等の収差補正能力に優れた光学系及びそれを用いた光学装置を実現することができる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーによる軸上主光線の折り曲げ角を θ としたときに、以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$60^\circ < \theta < 120^\circ \quad (6-1)$$

上記条件式（６－１）の下限を下回ると、形状可変ミラーの長手方向のサイズが大きくなってしまい、低コスト化が困難になる。また、上記条件式（６－１）の上限を上回ると、ミラーのサイズは小さくなるが、形状可変ミラーの前後のレンズ群が干渉し、光学系の配置が難しくなる。なお、ここでの主光線とは、物体中心を出て絞り中心を通り、像中心に到達する光線のことを指す。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$75^{\circ} < \theta < 105^{\circ} \quad (6-2)$$

この特徴により、さらに良い結果が得られる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、前記形状可変ミラーの直後の光学面から最終面までのレンズ群の倍率を $\beta 1$ としたときに、以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0.35 < |\beta 1| < 1.50 \quad (7-1)$$

上記条件式（７－１）の下限を下回ると、形状可変ミラー以降のレンズ群の倍率が低すぎるので、形状可変ミラーにおけるフォーカス感度が低下し、フォーカシングに必要な形状可変ミラーの変形量が増大してしまう。その一方、上記条件式（７－１）の上限を上回ると、レンズ群の倍率が高すぎるので形状可変ミラーで発生する偏心収差が拡大され、満足な光学性能を得ることが難しくなる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0.50 < |\beta 1| < 1.20 \quad (7-2)$$

この特徴により、光学性能を確保しつつ形状可変ミラーの変形量を適正な範囲で抑えられるので、さらに良い結果が得られる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、光学系の全長を $C j$ 、光学系の焦点距離を $f 1$ としたときに、以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$1.0 < C j / f 1 < 20.0 \quad (8-1)$$

上記条件式（８－１）の上限を上回ると、光学系の全長が長くなりすぎ、コンパクト化が困難になる。また、上記条件式（８－１）の下限を下回ると、コンパクト化は達成されるが、レンズ群の配置が制限され、十分な光学性能を得ることができない。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$3.0 < C_j / f_1 < 15.0 \quad (8-2)$$

この特徴により、コンパクトな光学系でありながら、より高い光学性能を得ることができる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$5.0 < C_j / f_1 < 10.0 \quad (8-3)$$

この特徴により、さらに良い結果が得られる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーによって発生する偏心収差を補正するために、少なくとも１つのレンズにシフトを加え、そのシフト量を δ 、光学系の焦点距離を f_1 としたときに、所定の状態で以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0.0 \leq |\delta / f_1| < 1.00 \quad (9-1)$$

この特徴により、レンズに加える偏心量を適正な範囲で抑えることができ、形状可変ミラーのパワーが弱い場合と強い場合の光学性能のバランスを取ることができる。ここでのシフト量 δ とは、シフトを加えたレンズの中心軸と光学系の Z 軸との距離として定義される量である。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、所定の状態で以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0.0 \leq |\delta / f_1| < 0.50 \quad (9-2)$$

この特徴により、遠点合焦時と近点合焦時の性能をさらに良くすることができる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、所定の状態で

以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0.0 \leq |\delta / f_1| < 0.25 \quad (9-3)$$

この特徴により、さらに良い結果が得られる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーから物体側に配置された負パワーのレンズ群が2枚のレンズで構成されており、それぞれのレンズに加えられたシフトを δ_1 、 δ_2 としたときに、以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$\delta_1 \times \delta_2 \leq 0 \quad (9-4)$$

この特徴により、つまり、負パワーのレンズ群に加えられたシフトを逆向きにすることにより、形状可変ミラーで発生する偏心収差の補正に大きな効果がある。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーによって発生する偏心収差を補正するために、少なくとも1つのレンズあるいは撮像面にティルトを加え、そのティルト量を ε としたときに、所定の状態で以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0.0^\circ \leq |\varepsilon| < 10.0^\circ \quad (10-1)$$

この特徴により、レンズに加える偏心量を適正な範囲で抑えることができ、形状可変ミラーのパワーが弱い場合と強い場合の光学性能のバランスを取ることができる。なお、ティルト量 ε とは、ティルトを加えたレンズあるいは撮像面の中心軸と光学系のZ軸との傾き角として定義される量である。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、所定の状態で以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0.0^\circ \leq |\varepsilon| < 7.0^\circ \quad (10-2)$$

この特徴により、遠点合焦時と近点合焦時の性能をさらに良くすることができる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、所定の状態で以下の条件式を満足することを特徴としている。

$$0.0^\circ \leq |\varepsilon| < 5.5^\circ \quad (10-3)$$

この特徴により、さらに良い結果が得られる。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、それぞれのレンズあるいは撮像面に加えたティルト量の絶対値の中で、撮像面のティルト量の絶対値が最大であることを特徴としている。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、撮像面に加えたティルトの方向が、形状可変ミラーと平行に近づく方向であることを特徴としている。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、形状可変ミラーによって発生する偏心収差を補正するために少なくとも1つのレンズあるいは撮像面にシフト及びティルトを加えた光学系において、それぞれのシフトがある一つの平面内で行われ、かつ、ティルトの回転軸がその平面に垂直であることを特徴としている。

また、本発明によれば、光学系及びそれを用いた光学装置は、絞りが形状可変ミラーよりも像側に配置されていることを特徴とししている。

また、本発明によれば、レンズの可動群が少なく、小型で、消費電力が少なく、動作音が静かな光学系及びそれを用いた光学装置を提供することができる。

These and other features and advantages of the present invention will become apparent from the following detailed description of the preferred embodiments when taken in conjunction with the accompanying drawings.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図1は本発明にかかる光学系の第1実施例のY-Z断面図である。

図2は第1実施例の物点距離無限遠における横収差図である。

図3は第1実施例の物点距離150mmにおける横収差図である。

図4は本発明にかかる光学系の第2実施例のY-Z断面図である。

図5は第2実施例の物点距離無限遠における横収差図である。

図6は第2実施例の物点距離180mmにおける横収差図である。

図 7 は本発明にかかる光学系の第 3 実施例の Y-Z 断面図である。

図 8 は第 3 実施例の物点距離無限遠における横収差図である。

図 9 は第 3 実施例の物点距離 150 mm における横収差図である。

図 10 は本発明に適用可能な形状可変ミラーとしての光学特性可変ミラーを用いたデジタルカメラのケプラー式ファインダーの概略構成図である。

図 11 は本発明に用いる形状可変ミラーとして適用可能な可変形状鏡の他の例を示す概略構成図である。

図 12 は図 11 の例の可変形状鏡に用いる電極の一形態を示す説明図である。

図 13 は図 11 の例の可変形状鏡に用いる電極の他の形態を示す説明図である。

図 14 は本発明に用いる形状可変ミラーとして適用可能な可変形状鏡のさらに他の例を示す概略構成図である。

図 15 は本発明に用いる形状可変ミラーとして適用可能な可変形状鏡のさらに他の例を示す概略構成図である。

図 16 は本発明に用いる形状可変ミラーとして適用可能な可変形状鏡のさらに他の例を示す概略構成図である。

図 17 は図 16 の例における薄膜コイルの巻密度の状態を示す説明図である。

図 18 は本発明のズーム光学系に用いる形状可変ミラーとして適用可能な可変形状鏡のさらに他の例を示す概略構成図である。

図 19 は図 18 の例におけるコイルの一配置例を示す説明図である。

図 20 は図 18 の例におけるコイルの他の配置例を示す説明図である。

図 21 は図 16 に示した例において、コイルを図 20 のように配置した場合に適する永久磁石の配置を示す説明図である。

図 22 は本発明の光学系を用いた撮像装置に適用可能な形状可変ミラーとしての可変形状鏡を用いた撮像系の概略構成図である。

図 23 は本発明の光学系に用いる形状可変ミラーとして適用可能なさらに

他の例の可変形状鏡の概略構成図である。

図 2 4 は本発明の光学系に用いる形状可変ミラーに適用可能なマイクロポンプの一例を示す概略構成図である。

図 2 5 は本発明に適用可能な、可変焦点レンズを応用した可変焦点ミラーを示す図である。

図 2 6 は本発明の光学系に用いる形状可変ミラーに適用可能な可変形状鏡のさらに他の例を示す概略構成図である。

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

以下、本発明を図示した実施例に基づき説明する。説明に先立ち、以下の式 (a) で定義される自由曲面について述べることにする。この定義式の Z 軸が自由曲面の軸となる。

$$Z = cr^2 / [1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2 r^2}] + \sum_{j=2}^N C_j X^m Y^n \quad \dots (a)$$

ここで、上記 (a) 式の第 1 項は球面項、第 2 項は自由曲面項である。

球面項中、

c : 頂点の曲率

k : コーニック定数 (円錐定数)

$r = \sqrt{X^2 + Y^2}$

N : 2 以上の自然数

である。

自由曲面項は、

$$\sum_{j=2}^N C_j X^m Y^n$$

$$\begin{aligned} &= C_2 X + C_3 Y \\ &+ C_4 X^2 + C_5 XY + C_6 Y^2 \\ &+ C_7 X^3 + C_8 X^2 Y + C_9 XY^2 + C_{10} Y^3 \\ &+ C_{11} X^4 + C_{12} X^3 Y + C_{13} X^2 Y^2 + C_{14} XY^3 + C_{15} Y^4 \\ &+ C_{16} X^5 + C_{17} X^4 Y + C_{18} X^3 Y^2 + C_{19} X^2 Y^3 + C_{20} XY^4 + C_{21} Y^5 \\ &+ C_{22} X^6 + C_{23} X^5 Y + C_{24} X^4 Y^2 + C_{25} X^3 Y^3 + C_{26} X^2 Y^4 + C_{27} XY^5 + C_{28} Y^6 \\ &+ C_{29} X^7 + C_{30} X^6 Y + C_{31} X^5 Y^2 + C_{32} X^4 Y^3 + C_{33} X^3 Y^4 + C_{34} X^2 Y^5 + C_{35} XY^6 + C_{36} Y^7 \\ &\dots\dots \end{aligned}$$

ただし、 C_j (j は 2 以上の整数) は係数である。

上記自由曲面は、一般的には、 $X-Z$ 面、 $Y-Z$ 面共に対称面を持つことはないが、 X の奇数次項を全て 0 にすることによって、 $Y-Z$ 面と平行な対称面が 1 つだけ存在する自由曲面となる。また、 Y の奇数次項を全て 0 にすることによって、 $X-Z$ 面と平行な対称面が 1 つだけ存在する自由曲面となる。

また、上記の回転非対称な曲面形状の面である自由曲面は、他の定義式として、Z e r n i k e 多項式により定義できる。この面の形状は以下の式 (b) により定義する。その定義式 (b) の Z 軸が Z e r n i k e 多項式の軸となる。回転非対称面の定義は、 $X-Y$ 面に対する Z の高さの極座標で定義され、 R は $X-Y$ 面内の Z 軸からの距離、 A は Z 軸回りの方位角で、 Z 軸から測った回転角で表せられる。

$$\begin{aligned} X &= R \times \cos(A) \\ Y &= R \times \sin(A) \\ Z &= D_2 \\ &+ D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A) \\ &+ D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A) \\ &+ D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A) + D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) \\ &+ D_{11} R^3 \sin(3A) \\ &+ D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A) \\ &+ D_{14} (6R^4 - 6R^2 + 1) + D_{15} (4R^4 - 3R^2) \sin(2A) \\ &+ D_{16} R^4 \sin(4A) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5 R^5 - 4 R^3) \cos(3A) \\
& + D_{19} (10 R^5 - 12 R^3 + 3 R) \cos(A) \\
& + D_{20} (10 R^5 - 12 R^3 + 3 R) \sin(A) \\
& + D_{21} (5 R^5 - 4 R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A) \\
& + D_{23} R^6 \cos(6A) + D_{24} (6 R^6 - 5 R^4) \cos(4A) \\
& + D_{25} (15 R^6 - 20 R^4 + 6 R^2) \cos(2A) \\
& + D_{26} (20 R^6 - 30 R^4 + 12 R^2 - 1) \\
& + D_{27} (15 R^6 - 20 R^4 + 6 R^2) \sin(2A) \\
& + D_{28} (6 R^6 - 5 R^4) \sin(4A) + D_{29} R^6 \sin(6A) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\
& \cdot \cdot \cdot (b)
\end{aligned}$$

ただし、 D_m (m は2以上の整数)は係数である。なお、 X 軸方向に対称な光学系として設計するには、 D_4 、 D_5 、 D_6 、 D_{10} 、 D_{11} 、 D_{12} 、 D_{13} 、 D_{14} 、 D_{20} 、 D_{21} 、 D_{22} ...を利用する。

上記定義式は、回転非対称な曲面形状の面の例示のために示したものであり、他のいかなる定義式に対しても同じ効果が得られることは言うまでもない。数学的に同値ならば他の定義で曲面形状を表してもよい。

本発明においては、前記(a)式の中の x の奇数時の項を全て0とすることで、 $y-z$ 面と平行な対称面を持つ自由曲面としている。

なお、非球面形状は、光軸方向を Z 、光軸に直行する方向を Y にとり、円錐係数を k 、非球面係数を a 、 b 、 c 、 d としたとき、次式(c)で表される。

$$\begin{aligned}
Z = & (Y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + k) \cdot (Y / r)^2\}^{1/2}] \\
& + a y^4 + b y^6 + c y^8 + d y^{10} \quad (c)
\end{aligned}$$

なお、上記数値データに関する説明は、本発明の各実施例の数値データに共通である。

以下の各実施例中、“ASP”は非球面、“FFS”は自由曲面、“DM”は形状可変ミラーを表す。データに記載されていない非球面、自由曲面等に関する項は0である。屈折率、アッペ数はともに d 線(波長587.56nm)に対するものを表記してある。長さの単位はmm、角度の単位はdegである。

また、各実施例ともに最像面側に 2 枚の平行平板を挿入しているが、これは撮像素子のカバーガラス、I R カットフィルタ、ローパスフィルタを想定したものである。

各実施例において、物体面における座標系の Z 軸は、物体中心を通り、物体面に垂直な直線で定義されている。この Z 軸と直交する方向を Y 軸とし、この Y 軸、Z 軸と右手直交座標系を構成する軸を X 軸とする。また、光軸は物体面中心と絞り中心あるいは射出瞳を通る光線の通り道で定義する。従って、光軸は形状可変ミラーの変形と共に変化することになるが、その変化はわずかな場合が多い。従って、各実施例では Z 軸と光軸が略一致している。

偏心面は、その座標系の原点から、その面の面頂位置のシフト（X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向をそれぞれ X、Y、Z）と、その面の中心軸（自由曲面については、前記（a）式の Z 軸）の X 軸、Y 軸、Z 軸それぞれを中心とするティルト（それぞれ α 、 β 、 γ （deg））で与えられる。偏心を行うときの座標系の原点は、偏心を行う面を k 面としたとき、k - 1 面の面頂位置から Z 軸方向に面間隔の分だけ移動した点とする。偏心の順序は、X シフト、Y シフト、Z シフト、 α ティルト、 β ティルト、 γ ティルトの順である。なお、その場合 α と β の正は、X 軸、Y 軸それぞれをマイナス側から見たときの反時計回り方向を、 γ の正は Z 軸をマイナス方向から見たときの時計回り方向で定義する。

なお、各実施例において、偏心はディセンタアンドリターン（以下 D A R）とディセンタオンリー（以下 D E O）の 2 種類がある。D A R による偏心では、k 面が偏心していたとき、k + 1 面以降の座標系が、偏心前の k 面の座標系と一致する。k + 1 面の面頂位置は、偏心前の k 面の面頂位置から Z 軸方向に面間隔の分だけ移動した点として定義する。一方、D E O では、k 面が偏心していたとき、k + 1 面以降の座標系は、偏心後の k 面の座標系と一致する。k + 1 面の面頂位置は、偏心後の k 面の面頂位置から Z 軸方向に面間隔の分だけ移動した点として定義する。

また、反射面の座標系の Z 軸正方向は、表面から裏面側に向かう方向になる。従って、反射面が X Y 多項式で表される自由曲面形状に変形している場合、

パワー成分であるC4、C6が正のとき、凸面ミラーになる。つまり、負のパワーを持つミラーになる。逆に、パワー成分であるC4、C6が負のとき、凹面ミラーになる。つまり、正のパワーを持つミラーになる。また、光線が反射面で反射された後の光学系の座標系は、反射前の座標系をX軸中心に180°回転させたものとして定義する。これによって、常に光学系のZ軸正方向に沿って光線が進行することになる。

前記形状可変ミラーは、遠点から近点までフォーカシングするためにパワーを変えることができるが、コントラスト方式のオートフォーカスを行うために遠点合焦時よりも弱いパワーの状態、及び近点合焦時よりも強いパワーの状態を取れるように設計されている。以下の各実施例では、遠点合焦時よりも弱いパワーの状態を遠点余裕、近点合焦時よりも強いパワーの状態を近点余裕と定義している。つまり、形状可変ミラーは遠点余裕、遠点、近点、近点余裕の4状態が存在することになる。

なお、以下の各実施例における形状可変ミラーは、実際の製作時の製造誤差による像面のZ方向のずれ、及び温度変化による像面のZ方向のずれを考慮して、フォーカス範囲の前後に変形量の余裕を持たせた設計になっている。

以下の各実施例は、形状可変ミラーにフォーカシングの機能をもたせた光学系の実施例である。メカ的な駆動を行わずにフォーカシングできるので、鏡枠構造が簡単になり、小型化、低コスト化を実現することができる。さらに、フォーカシング時のモータの駆動音がなくなるメリットがある。

実施例 1

図1は本発明にかかる光学系の第1実施例のY-Z断面図、図2は第1実施例の物点距離無限遠における横収差図、図3は第1実施例の物点距離150mmにおける横収差図である。なお、図1中の矢印は各光学部材の偏心の方向を示している。

第1実施例の光学系は、図1に示すように、形状可変ミラーDMと、形状可変ミラーから物体側に配置された2群2枚の凹レンズ群G1と、形状可変ミラーから像側に配置された3群4枚の凸レンズ群G2で構成されている。そして

、形状可変ミラーDMが変形することで、無限遠から近点150mmまでフォーカシングを行うことができるようになっている。

形状可変ミラーDMが平面から曲面に変形すると、ミラー面の反射によって偏心収差が発生する。特に形状可変ミラーDMの変形量が大きい近点合焦時に偏心収差は増大する。この実施例では、遠点から近点まで良好な光学性能を得るために、レンズ群あるいは撮像面にシフト及びティルトの偏心を加えている。これにより、フォーカシング時の偏心収差の発生をバランスさせることができる。

次に、第1実施例の光学系を構成する光学部材の数値データを示す。

焦点距離 : 4.9mm (銀塩換算 38mm)

開放Fナンバー : 2.8

撮像面のサイズ : 4.4mm×3.3mm

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞			
1	10.662	0.800		1.7725	49.6
2	4.300	1.200			
3	∞	0.800	偏心(1)	1.4875	70.2
4	8.675	4.200			
5	∞	0.000	偏心(2)		
6	FFS[1]	0.000	偏心(3)		
7	∞	4.000	偏心(4)		
8(絞り面)	∞	0.300			
9	9.498	2.979		1.7433	49.3
10	ASP[1]	2.160			
11	7.565	2.144		1.5163	64.1
12	-6.294	2.427		1.8052	25.4
13	6.285	2.279			
14	7.348	1.841		1.5831	59.4

15	ASP [2]	0.300		
16	∞	1.000	1.5163	64.1
17	∞	1.290	1.5477	62.8
18	∞	0.800		
19	∞	0.750	1.5163	64.1
20	∞	1.100		
像面	∞	0.000	偏心 (5)	

非球面係数

ASP [1]

曲率半径 -12.103 $k = 0$

$a = 3.3665 \times 10^{-4}$ $b = -1.9533 \times 10^{-6}$ $c = 2.8491 \times 10^{-7}$

$d = -3.8724 \times 10^{-9}$

ASP [2]

曲率半径 -20.000 $k = 0$

$a = 1.0418 \times 10^{-3}$ $b = 3.1010 \times 10^{-5}$ $c = -3.6437 \times 10^{-6}$

$d = 1.5524 \times 10^{-7}$

偏心量

偏心 [1] (DE0)

$X = 0.000$ $Y = 0.500$ $Z = 0.000$ $\alpha = 0.000$ $\beta = 0.000$

$\gamma = 0.000$

偏心 [2] (DE0)

$X = 0.000$ $Y = -0.393$ $Z = 0.000$ $\alpha = 45.000$ $\beta = 0.000$

$\gamma = 0.000$

偏心 [3] (DAR)

$X = 0.000$ $Y = -0.351$ Z (FFS [1] に記載) $\alpha = -0.206$

$\beta = 0.000$ $\gamma = 0.000$

偏心 [4] (DE0)

$X = 0.000$ $Y = 0.000$ $Z = 0.000$ $\alpha = 45.000$ $\beta = 0.000$

$$\gamma = 0.000$$

偏心 [5] (DAR)

$$X = 0.000 \quad Y = -0.006 \quad Z = 0.000 \quad \alpha = -1.000 \quad \beta = 0.000$$

$$\gamma = 0.000$$

FFS [1]

	∞ 余裕	∞	150mm	150mm 余裕
C4	-0.3190×10^{-5}	-0.4772×10^{-3}	-0.1053×10^{-2}	-0.1588×10^{-2}
C6	-0.3179×10^{-4}	-0.2419×10^{-3}	-0.5251×10^{-3}	-0.7847×10^{-3}
C8	-0.1845×10^{-4}	-0.2699×10^{-4}	-0.4654×10^{-4}	-0.7368×10^{-4}
C10	0.4599×10^{-5}	-0.1093×10^{-4}	-0.2621×10^{-4}	-0.4104×10^{-4}
C11	0.9450×10^{-5}	0.7951×10^{-5}	0.4889×10^{-5}	0.7148×10^{-5}
C13	0.4646×10^{-5}	0.5149×10^{-5}	0.3726×10^{-5}	0.7462×10^{-5}
C15	0.3176×10^{-5}	0.5839×10^{-6}	-0.4205×10^{-6}	-0.4914×10^{-6}
Z	0.00040	0.00309	0.00760	0.01042

実施例 1

		Z1	Z2	Z3	Z4
物体距離		∞ 余裕	∞	150mm	150mm 余裕
ϕDMx (パワーズ)[1/mm]		-3.190E-06	-4.772E-04	-1.053E-03	-1.588E-03
ϕDM_y (パワーズ)[1/mm]		-3.179E-05	-2.419E-04	-5.251E-04	-7.847E-04
md(変形量)[mm]		4.000E-04	3.090E-03	7.600E-03	1.042E-02
β (後群倍率)	条件式7	-0.821	-0.821	-0.820	-0.820
ϕ (焦点距離)[mm]		4.961	4.958	4.954	4.951
Cj(光学系の全長)[mm]		30.500	30.500	30.500	30.500
Sm(ミラー面積)[mm ²]		25.525	25.525	25.525	25.525
f1(前群焦点距離)[mm]		-6.039	-6.039	-6.039	-6.039
δ (シフト最大値)[mm]		0.500	0.500	0.500	0.500
ε (ティルト最大値)[deg]	条件式10	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000
$ md/\phi $	条件式1	8.063E-05	6.232E-04	1.534E-03	2.104E-03
md^2/Sm	条件式2	6.268E-09	3.741E-07	2.263E-06	4.254E-06
$ \phi DM \times \phi $	条件式4	8.676E-05	1.783E-03	3.909E-03	5.874E-03
$f1/\phi$	条件式5	-1.217	-1.218	-1.219	-1.220
Cj/ϕ	条件式8	6.148	6.151	6.157	6.160
$ \delta/\phi $	条件式9	0.101	0.101	0.101	0.101

実施例 2

図 4 は本発明にかかる光学系の第 2 実施例の Y-Z 断面図、図 5 は第 2 実施例の物点距離無限遠における横収差図、図 6 は第 2 実施例の物点距離 180 mm

mにおける横収差図である。なお、図4中の矢印は各光学部材の偏心の方向を示している。

第2実施例の光学系は、図4に示すように、形状可変ミラーDMと、形状可変ミラーから物体側に配置された2群2枚の凹レンズ群G1と、形状可変ミラーDMから像側に配置された3群4枚の凸レンズ群G2で構成されている。そして、形状可変ミラーDMが変形することで、無限遠から近点180mmまでフォーカシングを行うことができるようになっている。

形状可変ミラーDMが平面から曲面に変形すると、ミラー面の反射によって偏心収差が発生する。特に形状可変ミラーDMの変形量が大きい近点合焦時に偏心収差は増大する。この実施例でも、第1実施例と同様に、遠点から近点まで良好な光学性能を得るために、レンズ群あるいは撮像面にシフト及びティルトの偏心を加えている。これにより、フォーカシング時の偏心収差の発生をバランスさせることができる。

次に、第2実施例の光学系を構成する光学部材の数値データを示す。

焦点距離：4.9mm（銀塩換算38mm）

開放Fナンバー：2.8

撮像面のサイズ：4.4mm×3.3mm

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	9.778	0.800		1.7995	42.2
2	4.275	1.747			
3	-19.473	0.800	偏心(1)	1.4875	70.2
4	15.434	5.850			
5	∞	0.000	偏心(2)		
6	FFS[1]	0.000	偏心(3)		
7	∞	4.200	偏心(4)		
8（絞り面）	∞	0.200			
9	6.678	3.729		1.7433	49.3

10	ASP [1]	1.610		
11	17.604	2.057	1.4875	70.2
12	-3.861	0.800	1.8052	25.4
13	18.669	2.791		
14	16.682	2.000	1.5831	59.4
15	ASP [2]	1.179		
16	∞	1.000	1.5163	64.1
17	∞	1.290	1.5477	62.8
18	∞	0.800		
19	∞	0.750	1.5163	64.1
20	∞	1.190		
像 面	∞	0.000	偏心 (5)	

非球面系数

ASP [1]

曲率半径 -17.663 $k=0$

$a=6.3783 \times 10^{-4}$ $b=-1.5627 \times 10^{-5}$ $c=2.2210 \times 10^{-6}$

$d=-1.3623 \times 10^{-7}$

ASP [2]

曲率半径 -15.385 $k=0$

$a=5.5127 \times 10^{-4}$ $b=2.4424 \times 10^{-5}$ $c=-1.9699 \times 10^{-6}$

$d=9.7551 \times 10^{-8}$

偏心量

偏心 [1] (DE0)

$X=0.000$ $Y=0.500$ $Z=0.000$ $\alpha=0.000$ $\beta=0.000$

$\gamma=0.000$

偏心 [2] (DE0)

$X=0.000$ $Y=-0.476$ $Z=0.000$ $\alpha=45.000$ $\beta=0.000$

$\gamma=0.000$

偏心 [3] (DAR)

X = 0.000 Y = 0.000 Z (FFS [1] に記載) $\alpha = -0.484$

$\beta = 0.000$ $\gamma = 0.000$

偏心 [4] (DE0)

X = 0.000 Y = 0.000 Z = 0.000 $\alpha = 45.000$ $\beta = 0.000$

$\gamma = 0.000$

偏心 [5] (DAR)

X = 0.000 Y = -0.057 Z = 0.000 $\alpha = -1.000$ $\beta = 0.000$

$\gamma = 0.000$

FFS [1]

	∞ 余裕	∞	180mm	180mm 余裕
C4	-0.3203×10^{-3}	-0.5695×10^{-3}	-0.9205×10^{-3}	-0.1143×10^{-2}
C6	-0.1610×10^{-3}	-0.2769×10^{-3}	-0.4579×10^{-3}	-0.5756×10^{-3}
C8	-0.2245×10^{-4}	-0.3998×10^{-4}	-0.4782×10^{-4}	-0.5467×10^{-4}
C10	-0.9427×10^{-5}	-0.1723×10^{-4}	-0.2583×10^{-4}	-0.3016×10^{-4}
C11	0.3347×10^{-5}	0.4262×10^{-5}	0.4300×10^{-5}	0.3760×10^{-5}
C13	-0.3381×10^{-7}	0.1287×10^{-5}	0.1725×10^{-5}	0.2217×10^{-5}
C15	-0.5964×10^{-7}	-0.2655×10^{-6}	-0.2504×10^{-6}	-0.4895×10^{-6}
Z	0.00206	0.00350	0.00598	0.00803

実施例2

		Z1	Z2	Z3	Z4
物体距離		∞ 余裕	∞	180mm	180mm 余裕
ϕDMx (パワーx)[1/mm]		-3.203E-04	-5.695E-04	-9.205E-04	-1.143E-03
ϕDMy (パワーy)[1/mm]		-1.610E-04	-2.769E-04	-4.579E-04	-5.756E-04
md(変形量)[mm]		2.060E-03	3.500E-03	5.980E-03	8.030E-03
β (後群倍率)	条件式7	-0.817	-0.817	-0.818	-0.817
f(焦点距離)[mm]		4.956	4.954	4.958	4.952
Cj(光学系の全長)[mm]		32.790	32.790	32.790	32.790
Sm(ミラー面積)[mm ²]		27.155	27.155	27.155	27.155
f1(前群焦点距離)[mm]		-6.063	-6.063	-6.063	-6.063
δ (シフト最大値)[mm]		0.500	0.500	0.500	0.500
ε (ティルト最大値)[deg]	条件式10	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000
md/f	条件式1	4.156E-04	7.065E-04	1.206E-03	1.621E-03
md ² /Sm	条件式2	1.563E-07	4.511E-07	1.317E-06	2.375E-06
$\phi DM \times f$	条件式4	1.193E-03	2.097E-03	3.417E-03	4.255E-03
f1/f	条件式5	-1.223	-1.224	-1.223	-1.224
Cj/f	条件式8	6.616	6.619	6.614	6.621
δ/f	条件式9	0.101	0.101	0.101	0.101

実施例 3

図 7 は本発明にかかる光学系の第 3 実施例の Y-Z 断面図、図 8 は第 3 実施例の物点距離無限遠における横収差図、図 9 は第 3 実施例の物点距離 150 mm における横収差図である。図 7 中の矢印は各光学部材の偏心の方向を示している。

第 3 実施例の光学系は、図 7 に示すように、形状可変ミラー DM と、形状可変ミラー DM から物体側に配置された 1 群 1 枚の凹レンズ群 G1 と、形状可変ミラー DM から像側に配置された 3 群 4 枚の凸レンズ群 G2 で構成されている。そして、形状可変ミラー DM が変形することで、無限遠から近点 150 mm までフォーカシングを行うことができるようになっている。

形状可変ミラー DM が平面から曲面に変形すると、ミラー面の反射によって偏心収差が発生する。特に形状可変ミラー DM の変形量が大きい近点合焦時に偏心収差は増大する。この実施例でも、第 1 実施例や第 2 実施例と同様に、遠点から近点まで良好な光学性能を得るために、レンズ群あるいは撮像面にシフト及びティルトの偏心を加えている。これにより、フォーカシング時の偏心収差の発生をバランスさせることができる。

次に、第 3 実施例の光学系を構成する光学部材の数値データを示す。

焦点距離 : 4.4mm (銀塩換算 38mm)

開放 F ナンバー : 2.8

撮像面のサイズ : 4.0mm×3.0mm

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	ASP [1]	0.800	偏心 (1)	1.8141	32.2
2	ASP [2]	4.200	偏心 (1)		
3	∞	0.000	偏心 (2)		
4	FFS [1]	0.000	偏心 (3)		
5	∞	3.800	偏心 (4)		
6 (絞り面)	∞	0.100			

7	ASP [3]	2.000	偏心 (5)	1.7465	51.1
8	ASP [4]	5.438	偏心 (5)		
9	7.324	2.021	偏心 (6)	1.5011	68.3
10	-7.973	0.800	偏心 (6)	1.8307	24.5
11	5.885	0.300	偏心 (6)		
12	5.787	2.000	偏心 (7)	1.4900	70.0
13	ASP [5]	1.626	偏心 (7)		
14	∞	1.000		1.5163	64.1
15	∞	1.290		1.5477	62.8
16	∞	0.800			
17	∞	0.750		1.5163	64.1
18	∞	1.200			
像 面	∞	0.000	偏心 (8)		

非球面系数

ASP [1]

曲率半径 70.428 $k=0$

$a=2.2133 \times 10^{-3}$ $b=-4.1162 \times 10^{-4}$ $c=2.4537 \times 10^{-5}$

$d=-3.6373 \times 10^{-7}$

ASP [2]

曲率半径 3.507 $k=0$

$a=2.1789 \times 10^{-3}$ $b=-4.6380 \times 10^{-4}$ $c=-3.9638 \times 10^{-5}$

$d=5.3918 \times 10^{-6}$

ASP [3]

曲率半径 13.911 $k=0$

$a=5.4052 \times 10^{-5}$ $b=-2.3064 \times 10^{-6}$ $c=1.0798 \times 10^{-6}$

$d=3.3961 \times 10^{-8}$

ASP [4]

曲率半径 -9.140 $k=0$

$$a = 3.7861 \times 10^{-4} \quad b = 6.5188 \times 10^{-6} \quad c = -8.0902 \times 10^{-8}$$

$$d = 9.8151 \times 10^{-8}$$

ASP [5]

曲率半径 $-8.610 \quad k = 0$

$$a = 1.3105 \times 10^{-3} \quad b = -2.6285 \times 10^{-5} \quad c = 2.0896 \times 10^{-6}$$

$$d = -9.3284 \times 10^{-8}$$

偏心率

偏心 [1] (DAR)

$$X = 0.000 \quad Y = -0.455 \quad Z = 0.000 \quad \alpha = 0.000 \quad \beta = 0.000$$

$$\gamma = 0.000$$

偏心 [2] (DE0)

$$X = 0.000 \quad Y = 0.000 \quad Z = 0.000 \quad \alpha = 45.000 \quad \beta = 0.000$$

$$\gamma = 0.000$$

偏心 [3] (DAR)

$$X = 0.000 \quad Y \text{ (FFS [1] に記載)} \quad Z \text{ (FFS [1] に記載)} \quad \alpha = -0.783$$

$$\beta = 0.000 \quad \gamma = 0.000$$

偏心 [4] (DE0)

$$X = 0.000 \quad Y = 0.000 \quad Z = 0.000 \quad \alpha = 45.000 \quad \beta = 0.000$$

$$\gamma = 0.000$$

偏心 [5] (DAR)

$$X = 0.000 \quad Y = 0.428 \quad Z = 0.000 \quad \alpha = 0.000 \quad \beta = 0.000$$

$$\gamma = 0.000$$

偏心 [6] (DAR)

$$X = 0.000 \quad Y = 0.270 \quad Z = 0.000 \quad \alpha = 0.000 \quad \beta = 0.000$$

$$\gamma = 0.000$$

偏心 [7] (DAR)

$$X = 0.000 \quad Y = 0.147 \quad Z = 0.000 \quad \alpha = 0.000 \quad \beta = 0.000$$

$$\gamma = 0.000$$

偏心 [8] (DAR)

$X = 0.000$ $Y = 0.000$ $Z = 0.000$ $\alpha = -2.000$ $\beta = 0.000$

$\gamma = 0.000$

FFS [1]

	∞ 余裕	∞	150mm	150mm 余裕
C4	0.00000	-0.5892×10^{-3}	-0.1086×10^{-2}	-0.1575×10^{-2}
C6	0.00000	-0.3128×10^{-3}	-0.6189×10^{-3}	-0.9311×10^{-3}
C8	0.00000	-0.3938×10^{-4}	-0.6338×10^{-4}	-0.9810×10^{-4}
C10	0.00000	-0.2812×10^{-4}	-0.4815×10^{-4}	-0.7349×10^{-4}
C11	0.00000	0.2639×10^{-5}	0.3921×10^{-5}	0.5562×10^{-6}
C13	0.00000	-0.2463×10^{-5}	0.6584×10^{-6}	-0.2496×10^{-5}
C15	0.00000	-0.2641×10^{-5}	-0.2915×10^{-5}	-0.4413×10^{-5}
Y	0.00000	0.47001	0.34044	0.36255
Z	0.00000	0.00338	0.00643	0.00964

実施例3

物体距離		Z1	Z2	Z3	Z4
ΦDM_x (パワー-x)[1/mm]		∞ 余裕	∞	150mm	150mm 余裕
ΦDM_y (パワー-y)[1/mm]		0.000E+00	-5.892E-04	-1.086E-03	-1.575E-03
md(変形量)[mm]		0.000E+00	-3.128E-04	-6.189E-04	-9.311E-04
β (後群倍率)	条件式7	0.000E+00	3.380E-03	6.430E-03	9.640E-03
f(焦点距離)[mm]		-0.995	-0.995	-0.994	-0.993
Cj(光学系の全長)[mm]		4.538	4.538	4.538	4.538
Sm(ミラー面積)[mm ²]		28.250	28.250	28.250	28.250
f1(前群焦点距離)[mm]		25.525	25.525	25.525	25.525
δ (シフト最大値)[mm]		-4.558	-4.558	-4.558	-4.558
ε (ティルト最大値)[deg]	条件式10	0.455	0.455	0.455	0.455
md/f	条件式1	-2.000	-2.000	-2.000	-2.000
md ² /Sm	条件式2	0.000E+00	7.448E-04	1.417E-03	2.124E-03
$\Phi DM \times f$	条件式4	0.000E+00	4.476E-07	1.620E-06	3.641E-06
f1/f	条件式5	0.000E+00	2.047E-03	3.868E-03	5.686E-03
Cj/f	条件式8	-1.004	-1.004	-1.004	-1.004
δ/f	条件式9	6.225	6.225	6.225	6.225
		0.100	0.100	0.100	0.100

以上の各実施例では、形状可変ミラーを用いた光学系について述べた。しかしながら、形状可変ミラーの代わりに形状が変わらない平面ミラーあるいは曲面ミラーを用いた光学系の場合でも、特に支障をきたさない限り前述の条件式及び制限等を適用してよい。なぜならばミラーを用いた屈曲光学系における小

型化のメリットはそのまま保たれるからである。

また、以上の各実施例における光学系では、レンズ群中に反射面を有する構成の光学系について説明したが、反射面を有しない光学系についても可変形状面を備えた光学素子、例えば、可変焦点レンズ等を用いて構成すれば、小型化、低コスト化、省電力化、作動音の静音化等の効果を得ることが可能である。さらに、可変形状面を有しない可変焦点ミラーを以上の実施例に用いても良い。なお、可変焦点ミラーについては、その一例を図 25 を参照して後述する。

上記本発明による光学系は、フィルムカメラ、デジタルカメラ、テレビカメラ、携帯端末用のカメラ、監視カメラ、ロボットの眼、電子内視鏡等に適用可能である。

なお、以上の説明では、光学系として撮像光学系を想定しているが、物体面と像面を入れ替えることにより、プロジェクター等の投影光学系として使用することができる。

次に、上記本発明の光学系及びそれを用いた光学装置に適用可能な形状可変ミラーの構成例について説明する。

図 10 は、本発明の光学系に適用可能な可変ミラーとして光学特性可変ミラーを用いたデジタルカメラのケプラー式ファインダーの概略構成図である。本例の構成は、もちろん銀塩フィルムカメラにも使うことができる。まず、光学特性可変形状鏡 409 について説明する。

光学特性可変形状鏡 409 は、アルミコーティングされた薄膜（反射面）409a と複数の電極 409b からなる光学特性可変形状鏡（以下、単に可変形状鏡と言う。）であり、411 は各電極 409b にそれぞれ接続された複数の可変抵抗器、412 は可変抵抗器 411 と電源スイッチ 413 を介して薄膜 409a と電極 409b 間に接続された電源、414 は複数の可変抵抗器 411 の抵抗値を制御するための演算装置、415、416 及び 417 はそれぞれ演算装置 414 に接続された温度センサー、湿度センサー及び距離センサーで、これらは図示のように配設されて 1 つの光学装置を構成している。

なお、対物レンズ 902、接眼レンズ 901、及び、プリズム 404、二等

辺直角プリズム 405、ミラー 406 及び可変形状鏡の各面は、平面でなくてもよく、球面、回転対称非球面の他、光軸に対して偏心した球面、平面、回転対称非球面、あるいは、対称面を有する非球面、対称面を 1 つだけ有する非球面、対称面のない非球面、自由曲面、微分不可能な点又は線を有する面等、いかなる形状をしていてもよく、さらに、反射面でも屈折面でも光に何らかの影響を与え得る面ならばよい。以下、これらの面を総称して拡張曲面という。

また、薄膜 409 a は、例えば、P. Rai-choudhury 編、Handbook of Micro lithography, Micromachining and Microfabrication, Volume 2:Micro machining and Microfabrication, P495, Fig. 8. 58, SPIE PRESS 刊や Optic s Communication, 140 巻 (1997 年) P187~190 に記載されているメンブレインミラーのように、複数の電極 409 b との間に電圧が印加されると、静電気力により薄膜 409 a が変形してその面形状が変化するようになっており、これにより、観察者の視度に合わせたピント調整ができるだけでなく、さらに、レンズ 901, 902 及び／又はプリズム 404、二等辺直角プリズム 405、ミラー 406 の温度や湿度変化による変形や屈折率の変化、あるいは、レンズ枠の伸縮や変形及び光学素子、枠等の部品の組立誤差による結像性能の低下が抑制され、常に適正にピント調整並びにピント調整で生じた収差の補正が行われ得る。なお、電極 409 b の形は、例えば図 12、図 13 に示すように、薄膜 409 a の変形のさせ方に応じて選べばよい。

本例によれば、物体からの光は、対物レンズ 902 及びプリズム 404 の各入射面と射出面で屈折され、可変形状鏡 409 で反射され、プリズム 404 を透過して、二等辺直角プリズム 405 でさらに反射され (図 10 中、光路中の + 印は、紙面の裏側へ向かって光線が進むことを示している)、ミラー 406 で反射され、接眼レンズ 901 を介して眼に入射するようになっている。このように、レンズ 901, 902、プリズム 404, 405、及び、可変形状鏡 409 によって、本例の光学装置の観察光学系を構成しており、これらの各光学素子の面形状と肉厚を最適化することにより、物体面の収差を最小にすることができるようになっている。

すなわち、反射面としての薄膜 4 0 9 a の形状は、結像性能が最適になるように演算装置 4 1 4 からの信号により各可変抵抗器 4 1 1 の抵抗値を変化させることにより制御される。すなわち、演算装置 4 1 4 へ、温度センサー 4 1 5、湿度センサー 4 1 6 及び距離センサー 4 1 7 から周囲温度及び湿度並びに物体までの距離に応じた大きさの信号が入力され、演算装置 4 1 4 は、これらの入力信号に基づき周囲の温度及び湿度条件と物体までの距離による結像性能の低下を補償すべく、薄膜 4 0 9 a の形状が決定されるような電圧を電極 4 0 9 b に印加するように、可変抵抗器 4 1 1 の抵抗値を決定するための信号を出力する。このように、薄膜 4 0 9 a は電極 4 0 9 b に印加される電圧すなわち静電気力で変形させられるため、その形状は状況により非球面を含む様々な形状をとる。

なお、距離センサー 4 1 7 はなくてもよく、その場合、固体撮像素子 4 0 8 からの像の信号の高周波成分が略最大になるように、デジタルカメラの撮像レンズ 4 0 3 を動かし、その位置から逆に物体距離を算出し、可変形状鏡を変形させて観察者の眼にピントが合うようにすればよい。

また、薄膜 4 0 9 a をポリイミド等の合成樹脂で製作すれば、低電圧でも大きな変形が可能であるので好都合である。なお、プリズム 4 0 4 と可変形状鏡 4 0 9 を一体的に形成してユニット化することができる。また、図示を省略したが、可変形状鏡 4 0 9 の基板上に固体撮像素子 4 0 8 をリソグラフィープロセスにより一体的に形成してもよい。

また、レンズ 9 0 1、9 0 2、プリズム 4 0 4、4 0 5、ミラー 4 0 6 は、プラスチックモールド等で形成することにより任意の所望形状の曲面を容易に形成することができ、製作も簡単である。なお、本例の撮像装置では、レンズ 9 0 1、9 0 2 がプリズム 4 0 4 から離れて形成されているが、レンズ 9 0 1、9 0 2 を設けることなく収差を除去できるようにプリズム 4 0 4、4 0 5、ミラー 4 0 6、可変形状鏡 4 0 9 を設計すれば、プリズム 4 0 4、4 0 5、可変形状鏡 4 0 9 は 1 つの光学ブロックとなり、組立が容易となる。また、レンズ 9 0 1、9 0 2、プリズム 4 0 4、4 0 5、ミラー 4 0 6 の一

部あるいは全部をガラスで作製してもよく、このように構成すれば、さらに精度の良い撮像装置が得られる。

なお、図 10 の例では、演算装置 414、温度センサー 415、湿度センサー 416、距離センサー 417 を設け、温湿度変化、物体距離の変化等も可変形状鏡 409 で補償するようにしたが、そうではなくてもよい。つまり、演算装置 414、温度センサー 415、湿度センサー 416、距離センサー 417 を省き、観察者の視度変化のみを可変形状鏡 409 で補正するようにしてもよい。

図 11 は本発明の光学系に用いる形状可変ミラーとして適用可能な可変形状鏡 409 の他の例を示す概略構成図である。

本例の可変形状鏡は、薄膜 409a と電極 409b との間に圧電素子 409c が介装されていて、これらが支持台 423 上に設けられている。そして、圧電素子 409c に加わる電圧を各電極 409b 毎に変えることにより、圧電素子 409c に部分的に異なる伸縮を生じさせて、薄膜 409a の形状を変えることができるようになっている。電極 409b の形は、図 12 に示すように同心分割であってもよいし、図 13 に示すように矩形分割であってもよく、その他、適宜の形のものを選択することができる。

図 11 中、424 は演算装置 414 に接続された振れセンサーであって、例えばデジタルカメラの振れを検知し、振れによる像の乱れを補償するように薄膜 409a を変形させるべく、演算装置 414 及び可変抵抗器 411 を介して電極 409b に印加される電圧を変化させる。このとき、温度センサー 415、湿度センサー 416 及び距離センサー 417 からの信号も同時に考慮され、ピント合わせ、温湿度補償等が行われる。この場合、薄膜 409a には圧電素子 409c の変形に伴う応力が加わるので、薄膜 409a の厚さはある程度厚めに作られて相応の強度を持たせるようにするのがよい。

図 14 は本発明の光学系に用いる形状可変ミラーとして適用可能な可変形状鏡 409 のさらに他の例を示す概略構成図である。

本例の可変形状鏡は、薄膜 409a と電極 409b の間に介置される圧電素

子が逆方向の圧電特性を持つ材料で作られた２枚の圧電素子 409c 及び 409c' で構成されている点で図 11 に示された例の可変形状鏡とは異なる。すなわち、圧電素子 409c と 409c' が強誘電性結晶で作られているとすれば、結晶軸の向きが互いに逆になるように配置される。この場合、圧電素子 409c と 409c' は電圧が印加されると逆方向に伸縮するので、薄膜 409a を変形させる力が図 11 に示した実施例の場合よりも強くなり、結果的にミラー表面の形を大きく変えることができるという利点がある。

圧電素子 409c, 409c' に用いる材料としては、例えばチタン酸バリウム、ロッシェル塩、水晶、電気石、リン酸二水素カリウム (KDP)、リン酸二水素アンモニウム (ADP)、ニオブ酸リチウム等の圧電物質、同物質の多結晶体、同物質の結晶、 $PbZrO_3$ と $PbTiO_3$ の固溶体の圧電セラミックス、二フッ化ポリビニール (PVDF) 等の有機圧電物質、上記以外の強誘電体等があり、特に有機圧電物質はヤング率が小さく、低電圧でも大きな変形が可能であるので好ましい。なお、これらの圧電素子を利用する場合、厚さを不均一にすれば、上記例において薄膜 409a の形状を適切に変形させることも可能である。

また、圧電素子 409c, 409c' の材質としては、ポリウレタン、シリコンゴム、アクリルエラストマー、PZT、PLZT、ポリフッ化ビニリデン (PVDF) 等の高分子圧電体、シアン化ビニリデン共重合体、ビニリデンフルオライドとトリフルオロエチレンの共重合体等が用いられる。圧電性を有する有機材料や、圧電性を有する合成樹脂、圧電性を有するエラストマー等を用いると可変形状鏡面の大きな変形が実現できてよい。

なお、図 11 及び図 15 の圧電素子 409c に電歪材料、例えば、アクリルエラストマー、シリコンゴム等を用いる場合には、圧電素子 409c を別の基板 409c-1 と電歪材料 409c-2 を貼り合わせた構造にしてもよい。

図 15 は本発明の光学系に用いる形状可変ミラーとして適用可能な可変形状鏡 409 のさらに他の例を示す概略構成図である。

本例の可変形状鏡は、圧電素子 409c が薄膜 409a と電極 409d とに

より挟持され、薄膜 409 a と電極 409 d 間に演算装置 414 により制御される駆動回路 425 を介して電圧が印加されるようになっており、さらにこれとは別に、支持台 423 上に設けられた電極 409 b にも演算装置 414 により制御される駆動回路 425 を介して電圧が印加されるように構成されている。したがって、本例では、薄膜 409 a は電極 409 d との間に印加される電圧と電極 409 b に印加される電圧による静電気力とにより二重に変形され得、上記例に示した何れのものよりもより多くの変形パターンが可能であり、かつ、応答性も速いという利点がある。

そして、薄膜 409 a、電極 409 d 間の電圧の符号を変えれば、可変形状鏡を凸面にも凹面にも変形させることができる。その場合、大きな変形を圧電効果で行ない、微細な形状変化を静電気力で行なってもよい。また、凸面の変形には圧電効果を主に用い、凹面の変形には静電気力を主に用いてもよい。なお、電極 409 d は電極 409 b のように複数の電極から構成されてもよい。この様子を図 15 に示した。なお、ここでは、圧電効果と電歪効果、電歪をすべてまとめて圧電効果と述べている。従って、電歪材料も圧電材料に含むものとする。

図 16 は本発明の光学系に用いる形状可変ミラーとして適用可能な可変形状鏡 409 のさらに他の例を示す概略構成図である。

本例の可変形状鏡は、電磁気力を利用して反射面の形状を変化させ得るようにしたもので、支持台 423 の内部底面上には永久磁石 426 が、頂面上には窒化シリコン又はポリイミド等からなる基板 409 e の周縁部が載置固定されており、基板 409 e の表面にはアルミニウム等の金属コートで作られた薄膜 409 a が付設されていて、可変形状鏡 409 を構成している。

基板 409 e の下面には複数のコイル 427 が配設されており、これらのコイル 427 はそれぞれ駆動回路 428 を介して演算装置 414 に接続されている。したがって、各センサー 415、416、417、424 からの信号によって演算装置 414 において求められる光学系の変化に対応した演算装置 414 からの出力信号により、各駆動回路 428 から各コイル 427 にそれぞれ

れ適当な電流が供給されると、永久磁石 4 2 6 との間に働く電磁気力で各コイル 4 2 7 は反発又は吸着され、基板 4 0 9 e 及び薄膜 4 0 9 a を変形させる。

この場合、各コイル 4 2 7 はそれぞれ異なる量の電流を流すようにすることもできる。また、コイル 4 2 7 は 1 個でもよいし、永久磁石 4 2 6 を基板 4 0 9 e に付設しコイル 4 2 7 を支持台 4 2 3 の内部底面側に設けるようにしてもよい。また、コイル 4 2 7 はリソグラフィー等の手法で作るとよく、さらに、コイル 4 2 7 には強磁性体よりなる鉄心を入れるようにしてもよい。

この場合、薄膜コイル 4 2 7 の巻密度を、図 1 7 に示すように、場所によって変化させることにより、基板 4 0 9 e 及び薄膜 4 0 9 a に所望の変形を与えるようにすることもできる。また、コイル 4 2 7 は 1 個でもよいし、また、これらのコイル 4 2 7 には強磁性体よりなる鉄心を挿入してもよい。

図 1 8 は本発明の光学系に用いる形状可変ミラーとして適用可能な可変形状鏡 4 0 9 のさらに他の例を示す概略構成図である。

本例の可変形状鏡では、基板 4 0 9 e は鉄等の強磁性体で作られており、反射膜としての薄膜 4 0 9 a はアルミニウム等からなっている。この場合、薄膜コイルを設けなくてもすむから、構造が簡単で、製造コストを低減することができる。また、電源スイッチ 4 1 3 を切換え兼電源開閉用スイッチに置換すれば、コイル 4 2 7 に流れる電流の方向を変えることができ、基板 4 0 9 e 及び薄膜 4 0 9 a の形状を自由に変えることができる。

図 1 9 は本例におけるコイル 4 2 7 の配置を示し、図 2 0 はコイル 4 2 7 の他の配置例を示しているが、これらの配置は、図 1 6 に示した実施例にも適用することができる。なお、図 2 1 は、図 1 6 に示した例において、コイル 4 2 7 を図 2 0 のように配置した場合に適する永久磁石 4 2 6 の配置を示している。すなわち、図 2 1 に示すように永久磁石 4 2 6 を放射状に配置すれば、図 1 6 に示した例に比べて、微妙な変形を基板 4 0 9 e 及び薄膜 4 0 9 a に与えることができる。また、このように電磁気力を用いて基板 4 0 9 e 及び薄膜 4 0 9 a を変形させる場合（図 1 6 及び図 1 8 の例）は、静電気力を用いた場合よりも低電圧で駆動できるという利点がある。

以上いくつかの可変形状鏡の例を述べたが、ミラーの形を変形させるのに、図 1 5 の例に示すように、2 種類以上の力を用いてもよい。つまり静電気力、電磁力、圧電効果、磁歪、流体の圧力、電場、磁場、温度変化、電磁波等のうちから 2 つ以上を同時に用いて可変形状鏡を変形させてもよい。つまり 2 つ以上の異なる駆動方法を用いて光学特性可変光学素子を作れば、大きな変形と微細な変形とを同時に実現でき、精度の良い鏡面が実現できる。

また、形状可変ミラーの変形する部分の外形は、軸上光線の入射面に平行な方向に長い形状とするのが好ましく、このように構成すれば、収差補正に有利な楕円面に近い形状に変形させやすいという利点がある。前記入射面に平行な方向に長い形状としては、トラック形状、多角形、楕円等が利用できる。

図 2 2 は本発明の光学系を用いた撮像装置に適用可能な形状可変ミラーとして可変形状鏡 4 0 9 を用いた撮像系、例えば携帯電話のデジタルカメラ、カプセル内視鏡、電子内視鏡、パソコン用デジタルカメラ、PDA 用デジタルカメラ等に用いられる撮像系の概略構成図である。

本例の撮像系は、可変形状鏡 4 0 9 と、レンズ 9 0 2 と、固体撮像素子 4 0 8 と、制御系 1 0 3 とで一つの撮像ユニット 1 0 4 を構成している。本例の撮像ユニット 1 0 4 では、レンズ 9 0 2 を通った物体からの光は可変形状鏡 4 0 9 で集光され、固体撮像素子 4 0 8 の上に結像する。固体撮像素子 4 0 8 で得られた画像信号は、電子回路で処理され、表示装置に画像を表示することができる。また、記録装置に画像情報を蓄えることもできる。可変形状鏡 4 0 9 は、光学特性可変光学素子の一種であり、可変焦点ミラーとも呼ばれている。

本例によれば、物体距離が変わっても可変形状鏡 4 0 9 を変形させることでピント合わせをすることができ、レンズをモータ等で駆動する必要がなく、小型化、軽量化、低消費電力化の点で優れている。また、撮像ユニット 1 0 4 は本発明の撮像系としてすべての実施例で用いることができる。また、可変形状鏡 4 0 9 を複数用いることでズーム、変倍の撮像系、光学系を作ることができる。

なお、図 2 2 の例では、制御系 1 0 3 にコイルを用いたトランスの昇圧回路

を含む制御系の構成例を示している。特に積層型圧電トランスを用いると、小型化できてよい。昇圧回路は本発明のすべての電気を用いる可変形状鏡、可変焦点レンズに用いることができるが、特に静電気力、圧電効果を用いる場合の可変形状鏡、可変焦点レンズに有用である。

図 2 3 は、本発明の光学系に用いる形状可変ミラーとして適用可能なさらに他の例に係る、マイクロポンプ 1 8 0 で流体 1 6 1 を出し入れしミラー面を変形させる可変形状鏡 1 8 8 の概略構成図である。本例によれば、ミラー面を大きく変形させることが可能になるというメリットがある。マイクロポンプ 1 8 0 は、例えば、マイクロマシンの技術で作られた小型のポンプで、電力で動くように構成されている。マイクロマシンの技術で作られたポンプの例としては、熱変形を利用したもの、圧電材料を用いたもの、静電気力を用いたものなどがある。

図 2 4 は本発明の光学系に用いる形状可変ミラーに適用可能なマイクロポンプの一例を示す概略構成図である。本例のマイクロポンプ 1 8 0 では、振動板 1 8 1 は静電気力、圧電効果等の電気力により振動する。図 2 4 は静電気力により振動する例を示しており、図 2 4 中、1 8 2、1 8 3 は電極である。また、点線は変形した時の振動板 1 8 1 を示している。振動板 1 8 1 の振動に伴い、2 つの弁 1 8 4、1 8 5 が開閉し、流体 1 6 1 を右から左へ送るようになっている。

本例の可変形状鏡 1 8 8 では、反射膜 1 8 9 が流体 1 6 1 の量に応じて凹凸に変形することで、可変形状鏡として機能する。可変形状鏡 1 8 8 は流体 1 6 1 で駆動されている。流体としては、シリコンオイル、空気、水、ゼリー、等の有機物、無機物を用いることができる。

なお、静電気力、圧電効果を用いた可変形状鏡、可変焦点レンズなどにおいては、駆動用に高電圧が必要になる場合がある。その場合には、例えば図 2 2 に示すように、昇圧用のトランス、あるいは圧電トランス等を用いて制御系を構成するとよい。

また、反射用の薄膜 4 0 9 a は、変形しない部分にも設けておくと、可変形

状鏡の形状を干渉計等で測定する場合に、基準面として使うことができ便利である。

図 2 5 は本発明の光学系に適用可能な、可変焦点レンズを応用した可変焦点ミラーを示すものである。この可変焦点ミラー 5 6 5 は、第 1、第 2 の面 5 6 6 a、5 6 6 b を有する第 1 の透明基板 5 6 6 と、第 3、第 4 の面 5 6 7 a、5 6 7 b を有する第 2 の透明基板 5 6 7 とを有する。第 1 の透明基板 5 6 6 は、平板状またはレンズ状に形成して、内面（第 2 の面）5 6 6 b に透明電極 5 1 3 a を設け、第 2 の透明基板 5 6 7 は、内面（第 3 の面）5 6 7 a を凹面状に形成して、該凹面上に反射膜 5 6 8 を施し、さらにこの反射膜 5 6 8 上に透明電極 5 1 3 b を設ける。透明電極 5 1 3 a、5 1 3 b 間には高分子分散液晶層 5 1 4 を設け、これら透明電極 5 1 3 a、5 1 3 b をスイッチ 5 1 5 および可変抵抗器 5 1 9 を経て交流電源 5 1 6 に接続して、高分子分散液晶層 5 1 4 に交流電界を印加するようにする。なお、図 2 5 では液晶分子の図示を省略してある。この例は、透明電極 5 1 3 a と高分子分散液晶層 5 1 4 と透明電極 5 1 3 b からなる可変焦点レンズと、透明基板 5 6 7 と反射膜 5 6 8 からなる凹面鏡を組み合わせた構造になっている。

かかる構成によれば、透明基板 5 6 6 側から入射する光線は、反射膜 5 6 8 により高分子分散液晶層 5 1 4 を折り返す光路となるので、高分子分散液晶層 5 1 4 の作用を 2 回もたせることができると共に、高分子分散液晶層 5 1 4 への印加電圧を変えることにより、反射光の焦点位置を変えることができる。この場合、可変焦点ミラー 5 6 5 に入射した光線は、高分子分散液晶層 5 1 4 を 2 回透過するので、高分子分散液晶層 5 1 4 の厚さの 2 倍を t とすれば、上記の各式を同様に用いることができる。なお、透明基板 5 6 6 または 5 6 7 の内面を回折格子状にして、高分子分散液晶層 5 1 4 の厚さを薄くすることもできる。このようにすれば、散乱光をより少なくできる利点がある。

以上の説明では、液晶の劣化を防止するため、電源として交流電源 5 1 6 を用いて、液晶に交流電界を印加するようにしたが、直流電源を用いて液晶に直流電界を印加するようにすることもできる。また、液晶分子の方向を変える方

法としては、電圧を変化させること以外に、液晶にかける電場の周波数、液晶にかける磁場の強さ・周波数、あるいは液晶の温度等を変化させることによってもよい。なお、本発明では図 2 5 のような形状の変化しない可変焦点ミラーも、可変形状鏡の中に含めるものとする。

図 2 6 は本発明の光学系に用いる形状可変ミラーのさらに他の例を示す概略構成図である。本例では、デジタルカメラに用いられるものとして説明する。図 2 6 中、4 1 1 は可変抵抗器、4 1 4 は演算装置、4 1 5 は温度センサー、4 1 6 は湿度センサー、4 1 7 は距離センサー、4 2 4 は振れセンサーである。

本例の可変形状鏡 4 5 は、アクリルエラストマー等の有機材料からなる電歪材料 4 5 3 と間を隔てて分割電極 4 0 9 b を設け、電歪材料 4 5 3 の上に順に電極 4 5 2、変形可能な基板 4 5 1 を設け、さらにその上に入射光を反射するアルミニウム等の金属からなる反射膜 4 5 0 を設けて構成されている。このように構成すると、分割電極 4 0 9 b を電歪材料 4 5 3 と一体化した場合に比べて、反射膜 4 5 0 の面形状が滑らかになり、光学的に収差を発生させにくくなるというメリットがある。なお、変形可能な基板 4 5 1 と電極 4 5 2 の配置は逆でも良い。

また、図 2 6 中、4 4 9 は光学系の変倍、あるいはズームを行なう釦であり、可変形状鏡 4 5 は、釦 4 4 9 を使用者が押すことで反射膜 4 5 0 の形を変形させて、変倍あるいは、ズームをすることができるよう演算装置 4 1 4 を介して制御されている。

なお、アクリルエラストマー等の有機材料からなる電歪材料の代わりに既に述べたチタン酸バリウム等の圧電材料を用いてもよい。

最後に、本発明で用いる用語の定義を述べておく。

光学装置とは、光学系あるいは光学素子を含む装置のことである。光学装置単体で機能しなくてもよい。つまり、装置の一部でもよい。光学装置には、撮像装置、観察装置、表示装置、照明装置、信号処理装置等が含まれる。

撮像装置の例としては、フィルムカメラ、デジタルカメラ、ロボットの眼、

レンズ交換式デジタル一眼レフカメラ、テレビカメラ、動画記録装置、電子動画記録装置、カムコーダ、VTRカメラ、電子内視鏡等、携帯電話のデジタルカメラがある。デジカメ、カード型デジカメ、テレビカメラ、VTRカメラ、動画記録カメラ、携帯電話のデジタルカメラなどはいずれも電子撮像装置の一例である。

観察装置の例としては、顕微鏡、望遠鏡、眼鏡、双眼鏡、ルーペ、ファイバースコープ、ファインダー、ビューファインダー等がある。

表示装置の例としては、液晶ディスプレイ、ビューファインダー、ゲームマシン（ソニー社製プレイステーション）、ビデオプロジェクター、液晶プロジェクター、頭部装着型画像表示装置（head mounted display: HMD）、PDA（携帯情報端末）、携帯電話等がある。

照明装置の例としては、カメラのストロボ、自動車のヘッドライト、内視鏡光源、顕微鏡光源等がある。

信号処理装置の例としては、携帯電話、パソコン、ゲームマシン、光ディスクの読取・書込装置、光計算機の演算装置等がある。

なお、本発明の光学系は小型軽量なので、電子撮像装置、信号処理装置、特に、デジタルカメラ、携帯電話の撮像系に用いると効果がある。

撮像素子は、例えばCCD、撮像管、固体撮像素子、写真フィルム等を指す。また、平行平面板はプリズムの1つに含まれるものとする。観察者の変化には、視度の変化を含むものとする。被写体の変化には、被写体となる物体距離の変化、物体の移動、物体の動き、振動、物体のぶれ等を含むものとする。

拡張曲面の定義は以下の通りである。

球面、平面、回転対称非球面のほか、光軸に対して偏心した球面、平面、回転対称非球面、あるいは対称面を有する非球面、対称面を1つだけ有する非球面、対称面のない非球面、自由曲面、微分不可能な点や線を有する面等、いかなる形をしていても良い。反射面でも、屈折面でも、光になんらかの影響を与えうる面ならば良い。本発明では、これらを総称して拡張曲面と呼ぶことにする。

光学特性可変光学素子とは、可変焦点レンズ、可変形状鏡、面形状の変わる偏光プリズム、頂角可変プリズム、光偏向作用の変わる可変回折光学素子、つまり可変HOE、可変DOE等を含む。可変焦点レンズには、焦点距離が変化せず、収差量が変化するような可変レンズも含むものとする。可変形状鏡についても同様である。要するに、光学素子で、光の反射、屈折、回折等の光偏向作用が変化するものを光学特性可変光学素子と呼ぶ。

情報発信装置とは、携帯電話、固定式の電話、ゲームマシン、テレビ、ラジカセ、ステレオ等のリモコンや、パソコン、パソコンのキーボード、マウス、タッチパネル等の何らかの情報を入力し、送信することができる装置を指す。撮像装置のついたテレビモニター、パソコンのモニター、ディスプレイも含むものとする。情報発信装置は、信号処理装置の中に含まれる。

What is claimed is

1. 少なくとも1つの形状可変ミラーを有し、該形状可変ミラーの変形のみでフォーカシングが可能なように構成された光学系。
2. 前記形状可変ミラーは、偏心収差を低減するために所定の状態で回転非対称な形状に変形するようにした請求項1に記載の光学系。
3. 偏心収差を補正するために、少なくとも1つの回転対称なレンズあるいは撮像面がZ軸に対して偏心配置されている請求項1又は2に記載の光学系。
4. 請求項1に記載の光学系を用いた光学装置。
5. 前記形状可変ミラーは、フォーカシングする物体距離が近くなるにつれて正のパワーが大きくなるように構成されている請求項1に記載の光学系及び該光学系を用いた光学装置。
6. 前記形状可変ミラーは、変形により正のパワーと負のパワーの両方を取ることができる、請求項1に記載の光学系。
7. 前記形状可変ミラーは、正のパワーのみを取ることができる、請求項1に記載の光学系。
8. 前記形状可変ミラーは、ミラー面の変形の際に周辺部が固定である請求項1に記載の光学系。
9. 少なくとも1つ以上の接合レンズを有する請求項1に記載の光学系。

10. 形状可変ミラーを含んだ光学系において、形状可変ミラーの最大変形量を $m d$ 、形状可変ミラーが平面形状であるときの光学系の焦点距離を f_1 としたときに、所定の状態で以下の条件式を満足する光学系。

$$0 < |m d / f_1| < 0.1$$

11. 形状可変ミラーを含んだ光学系において、形状可変ミラーの最大変形量を $m d$ 、形状可変ミラーにおける光学的に有効な反射面の面積を S_m としたときに、所定の状態で以下の条件式を満足する光学系。

$$0 < m d^2 / S_m < 5.0 \times 10^{-4}$$

12. 形状可変ミラーを含んだ光学系において、形状可変ミラーによってフォーカシングを行う際に、形状可変ミラーの駆動方式が静電駆動方式であり、フォーカシング時に形状可変ミラーに印加する電圧を V_m (Volt) としたときに、所定の状態で以下の条件式を満足する光学系。

$$0 \leq |V_m| < 500$$

13. 形状可変ミラーを含んだ光学系において、形状可変ミラーのパワーを ϕ_{DM} 、光学系の焦点距離を f_1 としたときに、所定の状態で以下の条件式を満足する光学系。

$$0 \leq |\phi_{DM} \times f_1| < 1.00$$

ただし、前記形状可変ミラーのパワー ϕ_{DM} は、前記形状可変ミラーの偏心方向（Y方向）面内でのパワー ϕ_{DM_y} と、それと垂直方向（X方向）面内でのパワー ϕ_{DM_x} との平均値であり、 $\phi_{DM} = (\phi_{DM_x} + \phi_{DM_y}) / 2$ のように定義する。

14. 前記形状可変ミラーによって遠点にフォーカシングした際に、形状可変ミラーがフォーカシングした状態のパワーよりも小さいパワーの状態に変形できる請求項13に記載の光学系。

15. 前記形状可変ミラーによって近点にフォーカシングした際に、形状可変ミラーがフォーカシングした状態のパワーよりも大きいパワーの状態に変形できる請求項13に記載の光学系。

16. 前記形状可変ミラーによって物体距離が無限大の物点にフォーカシングした際に、形状可変ミラーの形状が平面ではなく、ゼロよりも大きなパワーを持つ凹面形状に変形する請求項1または13に記載の光学系。

17. 形状可変ミラーを含んだ光学系において、形状可変ミラーの物体側に負パワーのレンズ群を有し、該レンズ群の焦点距離を f_1 、光学系の焦点距離を f_l としたときに、以下の条件式を満足する光学系。

$$-5. \quad 0 < f_1 / f_l < -0.2$$

18. 形状可変ミラーの物体側に配置された負パワーのレンズ群が、1枚の凹レンズで構成されていることを特徴とする、請求項17に記載の光学系。

19. 形状可変ミラーの物体側に配置された負パワーのレンズ群が、2枚のレンズで構成されていることを特徴とする、請求項17に記載の光学系。

20. 形状可変ミラーを含んだ光学系において、形状可変ミラーによる軸上主光線の折り曲げ角を θ としたときに、以下の条件式を満足する請求項1に記載の光学系。

$$60^\circ < \theta < 120^\circ$$

21. 形状可変ミラーを含んだ光学系において、前記形状可変ミラーの直後の光学面から最終面までのレンズ群の倍率を β_1 としたときに、以下の条件式を満足する光学系。

$$0.35 < |\beta_1| < 1.50$$

22. 形状可変ミラーを含んだ光学系において、光学系の全長を C_j 、光学系の焦点距離を f_1 としたときに、以下の条件式を満足する光学系。

$$1. 0 < C_j / f_1 < 20.0$$

23. 形状可変ミラーを含んだ光学系において、形状可変ミラーによって発生する偏心収差を補正するために、少なくとも1つのレンズにシフトを加え、そのシフト量を δ 、光学系の焦点距離を f_1 としたときに、所定の状態で以下の条件式を満足する光学系。

$$0. 0 \leq |\delta / f_1| < 1.00$$

24. 形状可変ミラーを含んだ光学系において、形状可変ミラーから物体側に配置された負パワーのレンズ群が2枚のレンズで構成されており、それぞれのレンズに加えられたシフトを δ_1 、 δ_2 としたときに、以下の条件式を満足する請求項23に記載の光学系。

$$\delta_1 \times \delta_2 \leq 0$$

25. 形状可変ミラーを含んだ光学系において、形状可変ミラーによって発生する偏心収差を補正するために、少なくとも1つのレンズあるいは撮像面にティルトを加え、そのティルト量を ε としたときに、ある状態で以下の条件式を満足する光学系。

$$0. 0^\circ \leq |\varepsilon| < 10.0^\circ$$

26. それぞれのレンズあるいは撮像面に加えたティルト量の絶対値の中で、撮像面のティルト量の絶対値が最大である請求項25に記載の光学系。

27. 撮像面に加えたティルトの方向が、形状可変ミラーと平行に近づく方

向である請求項 25 に記載の光学系。

28. 形状可変ミラーを含み、形状可変ミラーによって発生する偏心収差を補正するために少なくとも 1 つのレンズあるいは撮像面にシフト及びティルトを加えた光学系において、それぞれのシフトがある一つの平面内で行われ、かつ、ティルトの回転軸がその平面に垂直である光学系。

29. 形状可変ミラーを含んだ光学系において、光学系の絞りが形状可変ミラーよりも像側に配置されている請求項 1 に記載の光学系。

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

光学系は、少なくとも1つの形状可変ミラーと、移動可能な凹レンズ群と、凸レンズ群を有している。形状可変ミラーDMが変形することで、フォーカシングが行われるようになっている。